Macchina a controllo numerico (CNC)



SHIFTVET

Digital Transformation for Wood and Furniture VET

SHIFTVET
Digital Transformation for Wood and Furniture VET

Content

Termini chiave 4
1. Introduzione 5
1.1 Panoramica del progetto ShiftVET 5
1.2 Scopo della guida 5
1.3 A chi è rivolta la guida? 7
1.4 Come usare questa guida? 7
2. Descrizione della tecnologia 9
2.1 Cos'è una CNC? 9
2.2 Come funziona una CNC? 10
2.3 Tipologie di processi di taglio CNC 12
CNC Router (Pantografo CNC) 12
Fresatrice CNC (CNC Milling Machine) 12
Tornio CNC (CNC Lathe) 12
Taglio laser CNC (CNC Laser Cutter) 13
Taglio a getto d'acqua CNC (CNC Waterjet Cutter) 13
Elettroerosione CNC (EDM – Electrical Discharge Machining) 13
2.4 Applicazioni generali 13
2.5 Attrezzature necessarie 14
2.6 Checklist tecnica di configurazione 16
3. Potenziale della tecnologia nella formazione professionale (VET) per la lavorazione del legno 18
3.1 Benefici educativi 18
3.2 Vantaggi tecnici del CNC nella formazione professionale per la lavorazione del legno e la carpenteria 19
3.3 Checklist pedagogica 21
3.4 Esempi di attività per la formazione professionale (VET) in falegnameria con CNC 22
4. Integrazione nelle classi 25

4.1 Raccomandazioni metodologiche 25
4.2 Piano di implementazione step-by-step 26
4.3 Checklist di integrazione in aula 28
4.4 Consigli per i docenti 30
5. Sicurezza e sostenibilità nella lavorazione CNC 32
6. Additional resources 35
7. Conclusioni 36
Bibliografia 37

Figures

Figure 1: CNC machine [2]. 10
Figure 2: CNC steps. Open AI 2026. 12
Figure 3: CNC piece [7]. 14
Figure 4: CNC router bits [8]. 15
Figure 5: Software for CNC [12]. 26
Figure 6: Student using CNC machine [13]. 27
Figure 7: Person using proper personal protective equipment [14]. 33

Termini chiave

CAD (Computer-Aided Design)

Software utilizzato per progettare la forma, le dimensioni e le caratteristiche di un pezzo prima della produzione.

CAM (Computer-Aided Manufacturing)

Software che converte un progetto CAD in istruzioni macchina per la lavorazione CNC.

Flusso di lavoro CAD–CAM–CNC

Flusso di lavoro digitale che va dalla progettazione (CAD), alla generazione dei percorsi utensile (CAM), fino alla lavorazione fisica (CNC).

G-code

Linguaggio di programmazione utilizzato per controllare le macchine CNC, che definisce movimenti, velocità, profondità di taglio e azioni dell'utensile.

Percorso utensile (Toolpath)

Il percorso digitale seguito dall'utensile da taglio durante la lavorazione, generato dal software CAM.

EDM (Electrical Discharge Machining)

Processo CNC che rimuove materiale tramite scariche elettriche; utilizzato principalmente per i metalli e poco diffuso nella lavorazione del legno.

DPI (Dispositivi di Protezione Individuale)

Attrezzature di sicurezza, come occhiali protettivi o protezioni acustiche, utilizzate durante l'uso delle macchine CNC.

1. Introduzione

1.1 Panoramica del progetto ShiftVET

Il progetto ShiftVET è pensato per supportare i formatori dell'Istruzione e Formazione Professionale iniziale (i-VET) nell'introduzione delle tecnologie digitali nella didattica della falegnameria. L'obiettivo è contribuire alla modernizzazione degli attuali programmi formativi, affinché gli studenti possano sviluppare le competenze digitali richieste nei settori della falegnameria e della manifattura. Rendendo l'apprendimento più innovativo e coinvolgente, il progetto mira inoltre ad aumentare l'interesse degli studenti verso questi percorsi professionali.

Per guidare questa trasformazione, ShiftVET si concentra su quattro obiettivi chiave:

- aiutare i formatori a comprendere come le tecnologie digitali possano essere applicate nella VET per la falegnameria e in che modo possano migliorare l'insegnamento e l'apprendimento;
- creare un repository online gratuito di materiali, esempi ed esercitazioni accessibili, facilmente integrabili nelle attività didattiche;
- sperimentare strumenti digitali pratici, come le macchine CNC, con gli studenti, per esplorare come queste tecnologie possano potenziare l'apprendimento pratico;
- promuovere l'uso di tecnologie avanzate non solo tra i partner di progetto, ma anche in altri centri di formazione professionale, esplorando al contempo come tali strumenti possano apportare benefici anche ad altri settori industriali.

1.2 Scopo della guida

L'obiettivo di questa guida è supportare i formatori della formazione professionale (VET) nel settore della falegnameria nell'introduzione e integrazione della lavorazione CNC nella pratica didattica. Poiché le tecnologie digitali stanno incidendo in modo sempre più rilevante sui settori della falegnameria e della manifattura, il Controllo Numerico Computerizzato (CNC) è diventato una tecnologia chiave per la lavorazione di precisione, la fabbricazione digitale e l'efficientamento dei flussi produttivi. Comprenderne il potenziale è essenziale per

preparare gli studenti a operare in contesti professionali moderni e tecnologicamente avanzati.

Questa guida è stata sviluppata specificamente per aiutare i docenti ad acquisire conoscenze, sicurezza e competenze pratiche necessarie a utilizzare in modo efficace le macchine CNC nell'insegnamento della lavorazione del legno. Offre un'introduzione chiara e accessibile ai fondamenti della manifattura digitale sottrattiva: cos'è il CNC, come funziona e perché rappresenta un complemento fondamentale alle tecniche tradizionali di falegnameria.

Più nello specifico, la guida si propone di:

- costruire una solida base sui principi della lavorazione CNC, includendo i concetti chiave, i componenti delle macchine, le configurazioni degli assi, gli utensili da taglio e i flussi di lavoro essenziali CAD–CAM–CNC;
- chiarirne la rilevanza per la lavorazione del legno, mostrando come la tecnologia CNC supporti attività quali il taglio di precisione, la lavorazione dei pannelli, la produzione di giunzioni, la manifattura ripetitiva, la validazione del design e la realizzazione di geometrie complesse, tra le altre applicazioni tipiche del settore legno-arredo;
- fornire strategie pratiche e immediatamente utilizzabili in aula per integrare le macchine CNC nei programmi VET, incluse idee di lezione, esercitazioni pratiche, indicazioni sulla sicurezza e buone pratiche per l'impostazione e l'utilizzo delle macchine;
- supportare formatori con diversi livelli di esperienza, offrendo spiegazioni chiare ed esempi applicativi che rendano la tecnologia CNC accessibile anche a chi ha una conoscenza limitata dei sistemi di manifattura digitale;
- rafforzare il legame tra fabbricazione digitale e artigianato tradizionale, aiutando gli studenti a comprendere come la lavorazione CNC migliori precisione, efficienza e ripetibilità, integrandosi — e non sostituendosi — alle competenze tradizionali della falegnameria.

In ultima analisi, lo scopo di questa guida è rendere la tecnologia CNC una risorsa accessibile, motivante e di elevato valore educativo sia per i formatori sia per gli studenti, sostenendo la transizione dalle pratiche tradizionali di falegnameria a

flussi di lavoro professionali digitalmente abilitati nel settore del legno e dell'arredo.

1.3 A chi è rivolta la guida?

Questa guida è pensata per formatori e docenti della formazione professionale nel settore della falegnameria che desiderano introdurre le macchine CNC nella propria pratica didattica. Si rivolge a professionisti con livelli diversi di familiarità con le tecnologie digitali, da chi è agli inizi a chi possiede già esperienza e intende integrarle in modo più efficace nelle attività di aula e di laboratorio.

Più nello specifico, la guida è rivolta a:

- formatori della formazione professionale in falegnameria alla ricerca di strumenti pratici, esempi e strategie per integrare il CNC nelle attività didattiche e nei laboratori;
- enti di formazione professionale e centri di training interessati a modernizzare i propri curricula e a offrire agli studenti l'accesso a tecnologie digitali rilevanti per il mercato del lavoro;
- docenti di ambiti tecnici o manifatturieri affini che desiderano comprendere come la tecnologia CNC possa affiancare l'artigianato tradizionale, migliorare l'accuratezza produttiva e arricchire le esperienze di apprendimento nei contesti VET;
- formatori impegnati nella formazione continua che intendono rafforzare le proprie competenze digitali e ampliare le risorse didattiche a disposizione;
- tutti coloro che sono coinvolti nella progettazione, nel coordinamento o nel supporto di programmi di formazione professionale orientati a promuovere innovazione, creatività e preparazione digitale degli studenti.

1.4 Come usare questa guida?

Questa guida è concepita come una risorsa pratica e flessibile per supportare i formatori nell'integrazione delle macchine CNC nella formazione professionale in falegnameria.

Può essere utilizzata in modo progressivo, tornando alle diverse sezioni man mano che aumentano la comprensione e la sicurezza nell'uso della tecnologia. Non è necessario leggerla tutta in una volta: la guida è pensata per accompagnare il formatore lungo l'intera pratica didattica.

Ecco come trarne il massimo beneficio:

- Partire dalle basi – Iniziare esplorando i capitoli introduttivi per comprendere cos'è il CNC, come funziona e perché sta diventando sempre più rilevante nella lavorazione del legno. Questa base aiuta a collegare la tecnologia ai metodi formativi tradizionali.
- Familiarizzare con strumenti e materiali – Consultare le sezioni che descrivono le diverse tipologie di tecnologie CNC, i materiali più comuni, i flussi di lavoro software e la terminologia essenziale.
- Esplorare le applicazioni didattiche – La guida include esempi e spiegazioni che illustrano come il CNC possa essere applicato nella formazione professionale per la falegnameria, aiutando a individuare concrete opportunità di utilizzo in aula e in laboratorio.
- Utilizzare le attività pratiche – Sono presenti dimostrazioni ed esercitazioni pensate per il contesto didattico. Le attività sono progettate in modo flessibile, così da poter essere adattate a diversi livelli di competenza.
- Sperimentare e riflettere con gli studenti – L'implementazione è più efficace quando formatori e studenti esplorano la tecnologia insieme. Le attività pratiche possono essere usate per sperimentare, discutere i risultati, risolvere problemi e stimolare gli studenti a migliorare i propri progetti.
- Usarla come riferimento continuo – La guida non è pensata per una lettura unica e definitiva, ma come strumento di consultazione a cui fare riferimento ogni volta che servono chiarimenti, esempi o ispirazione per progettare nuove lezioni. Può inoltre essere integrata con le risorse aggiuntive che verranno sviluppate nell'ambito del progetto ShiftVET.

2. Descrizione della tecnologia

2.1 Cos'è una CNC?

CNC è l'acronimo di Computer Numerical Control (Controllo Numerico Computerizzato) e indica un sistema che utilizza un computer per far funzionare una macchina in modo automatico, invece di affidarsi al controllo manuale diretto dell'operatore. In termini semplici, una macchina CNC è uno strumento che segue istruzioni digitali per tagliare, sagomare o lavorare un materiale con un intervento umano minimo durante l'esecuzione.

In questo sistema, un insieme di istruzioni programmate, spesso generate a partire da un progetto digitale, indica alla macchina quali movimenti compiere, a quale velocità, con quale profondità di taglio e dove fermarsi. Una volta predisposte le istruzioni, la macchina può lavorare in modo più costante e preciso rispetto all'uso manuale degli utensili.

Anche se la macchina opera in automatico, il ruolo del formatore o dell'operatore rimane fondamentale: è necessario preparare il progetto, caricare le istruzioni e verificare che tutto sia impostato correttamente prima di avviare la lavorazione. La sua responsabilità è garantire che il materiale venga lavorato nel modo corretto e che il processo avvenga in sicurezza.

Nella lavorazione del legno, le macchine CNC vengono comunemente utilizzate per tagliare forme, forare, realizzare scanalature e produrre componenti che devono essere identici tra loro, come parti ripetitive di mobili o motivi complessi difficili da realizzare manualmente.

Concetti chiave da ricordare:

- le macchine CNC leggono istruzioni informatiche, non comandi manuali o leve;
- sono progettate per supportare lavorazioni precise e ripetibili;
- non eliminano il ruolo delle persone, ma lo affiancano, riducendo la necessità di controllo manuale per ogni singola operazione [1].



Figure 1: CNC machine [2].

2.2 Come funziona una CNC?

Quando si parla di come funziona il CNC, lo si può immaginare come una sequenza di fasi che portano un'idea, nata al computer, a diventare un oggetto reale realizzato con una macchina CNC. Secondo una scomposizione passo per passo del flusso di lavoro CNC, le fasi sono le seguenti:

Fase 1 – Progettare il prodotto al computer

Il primo passaggio consiste nella creazione di un progetto digitale del pezzo da realizzare. Questo avviene tramite software CAD, con cui si disegnano forma, dimensioni e caratteristiche del manufatto, in modo che siano comprensibili sia alle persone sia alle macchine.

Fase 2 – Sviluppare il programma CNC

Una volta pronto il progetto, è necessario tradurlo in istruzioni che la macchina CNC possa eseguire. Queste istruzioni, scritte in un linguaggio come il G-code, indicano alla macchina dove tagliare, a quale velocità e con quale utensile.

Fase 3 – Simulare e verificare il programma

Prima di avviare la macchina, molti sistemi CNC permettono di simulare il processo al computer. In questo modo è possibile visualizzare il movimento

dell'utensile e individuare eventuali errori prima di lavorare il legno, riducendo il rischio di collisioni o difetti.

Fase 4 – Preparare e impostare la macchina

Si passa poi alla preparazione della macchina fisica:

- installare l'utensile di taglio corretto;
- fissare correttamente il pezzo di legno;
- impostare il punto di partenza;
- regolare parametri come velocità e avanzamento.

Questa fase è fondamentale per garantire che la macchina possa seguire correttamente le istruzioni.

Fase 5 – Lavorazione (taglio CNC)

È la fase centrale, in cui la macchina esegue il programma e lavora il materiale. L'utensile CNC si muove con precisione seguendo le istruzioni, sagomando il pezzo esattamente come previsto dal progetto.

Fase 6 – Monitoraggio e controllo qualità durante la lavorazione

Durante l'esecuzione, è importante che il formatore o l'operatore controlli il processo e verifichi le misure dei pezzi, assicurandosi che tutto proceda correttamente. In caso di anomalie, è possibile intervenire prima che venga rimosso troppo materiale.

Fase 7 – Finitura e post-lavorazione

Una volta terminato il taglio CNC, il pezzo può richiedere lavorazioni finali come carteggiatura, lucidatura o assemblaggio, per raggiungere il livello di qualità desiderato. Questa fase conclude il processo produttivo [3].

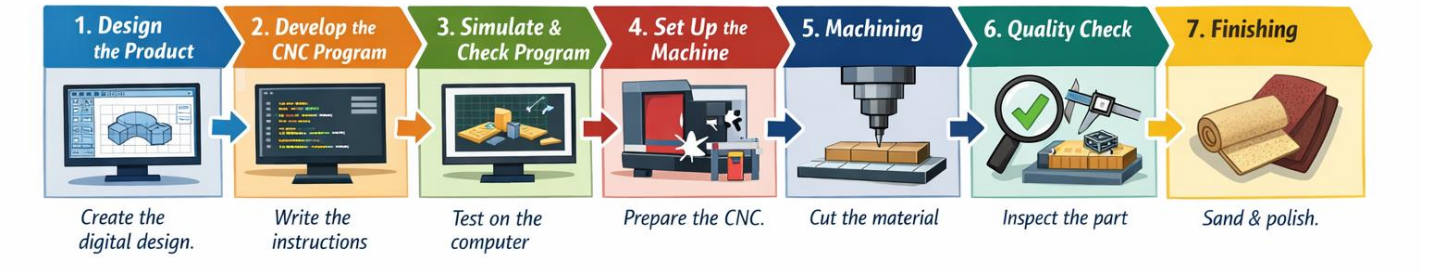


Figure 2: CNC steps. Open AI 2026.

2.3 Tipologie di processi di taglio CNC

Esistono molte tipologie di tecnologie CNC, ciascuna progettata per svolgere lavorazioni specifiche muovendo utensili in modo preciso secondo un programma informatico. Queste tecnologie si differenziano per il modo in cui tagliano o modellano il materiale e per i materiali con cui lavorano meglio.

Di seguito una panoramica delle tipologie di CNC più comuni, descritta in modo semplice e pensata per formatori VET ed educatori nel settore della falegnameria:

CNC Router (Pantografo CNC)

Il CNC router è molto diffuso nella lavorazione del legno. Funziona come un utensile da taglio controllato dal computer che si muove su più assi per realizzare forme, profili e lavorazioni su legno e pannelli a base di legno.
È particolarmente adatto per componenti di mobili, pannelli decorativi e produzioni ripetitive.
In sostanza, i router sono macchine di fresatura adattate per il legno e per materiali più leggeri.

Fresatrice CNC (CNC Milling Machine)

Le fresatrici CNC rimuovono materiale tramite un utensile rotante. Possono realizzare superfici piane, curve e forme complesse con un buon livello di precisione. La fresatura è utilizzata in molti settori industriali, inclusa la lavorazione del legno quando è richiesta un'elevata accuratezza.

Tornio CNC (CNC Lathe)

Il tornio CNC funziona in modo diverso: è il pezzo a ruotare mentre l'utensile rimane in posizione e asporta materiale. È ideale per realizzare elementi cilindrici o rotondi come tasselli, gambe, pomelli o componenti torniti per l'arredo.

Taglio laser CNC (CNC Laser Cutter)

Il taglio laser CNC utilizza un fascio laser concentrato per tagliare o incidere materiali con grande precisione. È molto usato per materiali sottili e per lavorazioni che richiedono dettagli accurati, anche se nel legno viene impiegato soprattutto per incisioni e tagli di pannelli sottili.

Taglio a getto d'acqua CNC (CNC Waterjet Cutter)

Il sistemi waterjet utilizzano un getto d'acqua ad altissima pressione, spesso miscelato con abrasivi, per tagliare i materiali.
Non generano calore, quindi sono adatti a materiali sensibili alla temperatura come plastiche o compositi.
Possono inoltre tagliare materiali molto resistenti che potrebbero fondersi o deformarsi con il calore.

Elettroerosione CNC (EDM – Electrical Discharge Machining)

L'EDM utilizza scariche elettriche per erodere il materiale da un pezzo. È particolarmente efficace su materiali molto duri e per forme complesse, soprattutto quando altri metodi risultano difficili da applicare. Questa tecnologia è usata principalmente per stampi, utensili e lavorazioni metalliche e non è comune nella falegnameria di base [4].

2.4 Applicazioni generali

La tecnologia CNC viene utilizzata nella lavorazione del legno per tagliare, modellare e preparare parti in legno in modo preciso e ripetibile. Invece di lavorare ogni pezzo a mano, il CNC consente di realizzare lo stesso disegno in modo accurato e più volte, utilizzando un file digitale come riferimento.

Di seguito sono riportate le principali applicazioni generali del CNC nella lavorazione del legno.

Viene utilizzata per la produzione di mobili. Le macchine CNC sono ampiamente utilizzate per produrre parti per mobili, come tavoli, sedie, armadi e scaffali. La macchina taglia pannelli e componenti in modo che si incastrino correttamente, contribuendo a garantire una qualità costante su più pezzi. È utile anche per

mobili e arredi su misura, come armadi da cucina, guardaroba e mobili da incasso, dove la precisione è importante. Consente il taglio accurato di pannelli, fessure e fori in modo che le parti si allineino correttamente durante l'assemblaggio.

Un'altra applicazione di questa tecnologia è la falegnameria e i collegamenti, perché il CNC può creare giunti, scanalature e dettagli di collegamento che sarebbero difficili o richiederebbero molto tempo da realizzare a mano. Questo aiuta gli studenti a capire come gli strumenti digitali supportano le tecniche tradizionali di lavorazione del legno. Una delle applicazioni più visibili del CNC è il lavoro decorativo, come l'intaglio di motivi, lettere, loghi o texture nel legno. Questo è comunemente usato per insegne, pannelli ed elementi artistici.

Le macchine CNC vengono utilizzate anche per realizzare prototipi o pezzi di prova prima della produzione finale. Questo aiuta a verificare le dimensioni, l'adattamento e l'aspetto prima di impegnarsi in un lotto completo.

Infine, è utile anche per piccoli oggetti, artigianato e progetti educativi, come giocattoli in legno, progetti didattici o oggetti artigianali. Queste applicazioni sono particolarmente rilevanti negli ambienti di formazione, dove l'apprendimento attraverso la pratica è importante [5], [6].



Figure 3: CNC piece [7].

2.5 Attrezzature necessarie

Lavorare con il CNC in un contesto di formazione in falegnameria significa disporre di alcuni strumenti e attrezzature di base che permettono di passare da un progetto digitale a un pezzo in legno finito. La lavorazione CNC è un processo

controllato che rimuove materiale da un blocco attraverso macchine e utensili da taglio guidati da istruzioni informatiche.

Di seguito sono riportate le principali attrezzature generalmente coinvolte:

1. Macchina CNC: È la macchina centrale che esegue il taglio. Le macchine CNC sono controllate da programmi informatici che muovono l'utensile e asportano materiale per dare forma al pezzo desiderato. Esistono diversi tipi di macchine CNC, ma il principio di base è lo stesso: la struttura della macchina, i motori, il controllo elettronico e il mandrino con gli utensili lavorano insieme sotto il controllo del computer per realizzare il progetto.
2. Computer e software (CAD + CAM): Per utilizzare una macchina CNC è necessario un computer dotato di software adeguato: software CAD (Computer-Aided Design) per creare o aprire il disegno del pezzo; software CAM (Computer-Aided Manufacturing) per generare le istruzioni che la macchina seguirà. Questa combinazione consente di tradurre il progetto in una sequenza di movimenti e operazioni di taglio comprensibili dalla macchina CNC.

3. Utensili da taglio: Le macchine CNC non lavorano il legno direttamente con parti metalliche fisse, ma utilizzano utensili da taglio come frese o punte per pantografo. Questi utensili vengono montati nel mandrino della macchina e sono responsabili dell'asportazione del materiale. La scelta dell'utensile influisce sul tipo di lavorazione, sulla qualità della finitura e sulla durata dell'utensile stesso.



Figure 4: CNC router bits [8].

4. Sistemi di fissaggio del pezzo (work holding fixtures): Per consentire alla macchina di tagliare correttamente senza errori, il pezzo di legno deve essere fissato in modo stabile. Questo avviene tramite: morsetti; piastre di fissaggio; maschere o attrezzaggi progettati per forme specifiche. Un fissaggio sicuro impedisce qualsiasi movimento durante la lavorazione, permettendo alla macchina di seguire il programma con precisione.
5. Blocchi di materiale o semilavorati: È necessario disporre del materiale grezzo, ovvero il pezzo di legno o il pannello da cui verrà ricavato il componente finale. In ambito produttivo questo viene spesso chiamato "semilavorato" o "pezzo in lavorazione" (workpiece).
6. Strumenti di misura e di finitura: Dopo la lavorazione CNC, è spesso necessario eseguire alcune operazioni manuali di finitura, come la carteggiatura, il controllo delle dimensioni con righelli o calibri, oppure l'assemblaggio dei componenti. Questi strumenti tradizionali completano il flusso di lavoro CNC nel contesto della falegnameria [9].

2.6 Checklist tecnica di configurazione

Prontezza delle attrezzature

- ☐ La macchina CNC è installata in un'area di laboratorio stabile, pulita e ben ventilata.
- ☐ La macchina è accesa e non presenta messaggi di errore visibili.
- ☐ L'utensile di taglio (fresa/punta) è installato correttamente e serrato in modo sicuro.
- ☐ L'utensile selezionato è adeguato al materiale e al tipo di lavorazione (taglio, incisione, scanalatura).
- ☐ Il pezzo in lavorazione (legno o pannello) è fissato saldamente al piano macchina (morsetti o sistema a vuoto).
- ☐ Il punto zero della macchina (posizione di partenza) è stato impostato correttamente.
- ☐ Lo spessore del materiale è sufficiente per completare l'operazione in sicurezza.
- ☐ Il software CNC è aggiornato e compatibile con il controllore della macchina.

- Il programma CNC è stato revisionato (percorsi utensile, profondità di taglio, velocità di rotazione e avanzamento).

Controlli di sicurezza

- Gli studenti sono stati informati sulla presenza di parti in movimento e utensili rotanti.
- Capelli lunghi, indumenti larghi e gioielli sono fissati o rimossi.
- Occhiali di protezione e protezioni acustiche sono disponibili e utilizzati quando richiesto.
- I pulsanti di arresto di emergenza sono chiaramente identificati e facilmente accessibili.
- Sono state fornite istruzioni chiare su dove gli studenti possono posizionarsi e su cosa non devono toccare mentre la macchina è in funzione.

Risorse digitali

- È disponibile l'accesso a un software CAD per eventuali modifiche dell'ultimo minuto al progetto.
- Il programma CNC è stato generato con un software CAM adatto alla macchina utilizzata.
- I file di progetto sono stati verificati per dimensioni e scala corrette.
- I file provenienti da fonti esterne sono adatti all'uso didattico e legalmente utilizzabili in aula.

Errori comuni e rischi per principianti nella lavorazione CNC

Quando si lavora per la prima volta con macchine CNC, i principianti commettono spesso errori che possono compromettere la qualità del lavoro o creare rischi per la sicurezza se non vengono affrontati correttamente.

Uno degli errori più frequenti è il fissaggio non corretto del pezzo. Se il materiale non è bloccato in modo sicuro, può muoversi durante la lavorazione, causando tagli imprecisi o danni all'utensile. Un altro problema comune è l'impostazione errata del punto zero, che può portare a tagli fuori posizione o troppo profondi.

I principianti possono inoltre selezionare utensili o parametri di taglio non adeguati, come velocità di avanzamento o di rotazione errate, con conseguente scarsa qualità della superficie, usura dell'utensile o bruciature del legno. Anche saltare la simulazione o la revisione del programma rappresenta un rischio, poiché errori non individuati nel percorso utensile possono causare collisioni o spreco di materiale.

Affrontare questi errori fin dalle prime fasi aiuta gli studenti a sviluppare abitudini di lavoro sicure e a comprendere l'importanza della preparazione e della verifica prima di avviare qualsiasi lavorazione CNC.

3. Potenziale della tecnologia nella formazione professionale (VET) per la lavorazione del legno

3.1 Benefici educativi

L'introduzione della tecnologia CNC nella formazione professionale offre numerosi benefici educativi, che supportano sia l'apprendimento tecnico sia il coinvolgimento degli studenti. Utilizzata in aula o in laboratorio, la CNC aiuta a collegare competenze digitali, attività pratiche e applicazioni reali.

Apprendimento pratico con rilevanza per il mondo del lavoro

Le macchine CNC consentono agli studenti di lavorare con le stesse tecnologie utilizzate nei contesti professionali. Gli allievi non si limitano a studiare concetti teorici, ma li applicano direttamente progettando componenti e vedendoli realizzati. Questo approccio pratico aiuta a comprendere come le competenze acquisite siano collegate a reali opportunità lavorative.

Sviluppo del problem solving e del pensiero critico

Lavorare con il CNC stimola gli studenti a pianificare, testare e correggere le proprie idee. Se un pezzo non risulta come previsto, è necessario analizzare cosa non ha funzionato e migliorare il progetto o le impostazioni della macchina.

Questo processo rafforza le capacità di risoluzione dei problemi e il pensiero logico.

Forte connessione tra progettazione digitale e realizzazione fisica

Il CNC permette di visualizzare in modo chiaro il legame tra il design digitale e la produzione materiale. Progettare un pezzo al computer e poi realizzarlo fisicamente rende i concetti astratti più concreti e comprensibili.

Maggiore coinvolgimento e motivazione degli studenti

Le macchine CNC tendono a suscitare grande interesse, anche perché producono risultati visibili e dall'aspetto professionale. Vedere una macchina trasformare un file digitale in un oggetto reale aiuta a mantenere alta la motivazione e la partecipazione al processo di apprendimento.

Supporto alla creatività e all'apprendimento basato su progetti

La tecnologia CNC consente agli studenti di creare parti personalizzate e design originali, favorendo il pensiero creativo. È particolarmente adatta all'apprendimento basato su progetti, in cui gli studenti progettano, realizzano e migliorano progressivamente il proprio lavoro.

Preparazione alle carriere future e alla formazione avanzata

Imparare a utilizzare macchine CNC aiuta gli studenti a familiarizzare con ambienti produttivi moderni. Questa esperienza supporta l'ingresso nel mondo del lavoro, l'accesso a percorsi di apprendistato o il proseguimento degli studi tecnici, rafforzando la fiducia nell'uso di strumenti rilevanti per l'industria [10], [11].

3.2 Vantaggi tecnici del CNC nella formazione professionale per la lavorazione del legno e la carpenteria

Dal punto di vista tecnico, la tecnologia CNC offre vantaggi chiari quando viene utilizzata nella formazione professionale per la lavorazione del legno e la carpenteria. Uno dei benefici più importanti è la precisione, poiché le macchine CNC seguono percorsi utensile digitali che consentono tagli accurati, bordi puliti

e componenti correttamente dimensionati. Questo rende più semplice ottenere risultati tecnici affidabili rispetto ai processi completamente manuali.

Un altro vantaggio fondamentale è la ripetibilità. Una volta creato un programma CNC, lo stesso pezzo può essere prodotto più volte mantenendo una qualità costante. Questo è particolarmente utile nei contesti formativi, dove gli studenti possono lavorare su attività simili nelle stesse condizioni tecniche e confrontare più facilmente i risultati.

Le macchine CNC permettono inoltre di realizzare forme complesse e dettagli elaborati, come curve, scanalature o elementi decorativi, che sarebbero difficili o molto dispendiosi in termini di tempo da realizzare a mano. Ciò amplia la gamma di progetti di falegnameria che possono essere sviluppati nei laboratori VET.

In aggiunta, la lavorazione CNC favorisce un uso più efficiente dei materiali, poiché i percorsi di taglio possono essere pianificati per ridurre gli scarti ed evitare errori. Una volta impostata, la macchina CNC può eseguire operazioni ripetitive in modo efficiente, aiutando i laboratori a sfruttare meglio il tempo limitato a disposizione per la formazione.

Nel complesso, questi vantaggi tecnici rendono il CNC una tecnologia pratica e affidabile per la formazione professionale nel settore del legno e della carpenteria, allineando le pratiche di laboratorio a quelle adottate negli ambienti professionali contemporanei.

È importante chiarire che la lavorazione CNC e la falegnameria manuale non devono essere considerate metodi contrapposti, ma approcci complementari che rispondono a finalità diverse all'interno della lavorazione del legno e della carpenteria.

La lavorazione manuale sviluppa competenze fondamentali come la conoscenza del materiale, la coordinazione occhio-mano e il sapere artigianale. Permette agli studenti di comprendere il comportamento del legno, l'orientamento delle fibre e le tecniche di finitura attraverso l'interazione diretta con il materiale.

La lavorazione CNC, invece, offre precisione, ripetibilità ed efficienza, risultando ideale per la produzione di componenti accurati, geometrie complesse e parti

ripetitive. È particolarmente utile per lavorazioni che richiedono risultati costanti o motivi dettagliati difficili da ottenere manualmente.

Nella formazione professionale, la combinazione di entrambi gli approcci consente agli studenti di beneficiare dei punti di forza di ciascun metodo. Il CNC supporta accuratezza ed efficienza, mentre la falegnameria manuale rafforza le competenze tradizionali e il valore dell'artigianato, offrendo un'esperienza di apprendimento equilibrata e completa.

3.3 Checklist pedagogica

L'introduzione della tecnologia CNC nella formazione professionale per la lavorazione del legno non è solo una questione tecnica, ma rappresenta anche un'importante opportunità didattica.

Prima di progettare le attività in aula o in laboratorio, i docenti dovrebbero assicurarsi che gli obiettivi di apprendimento, il livello di preparazione degli studenti e l'allineamento con il curriculum siano chiaramente definiti. Questa checklist aiuta a garantire che il CNC venga utilizzato in modo significativo, motivante ed efficace dal punto di vista educativo.

Obiettivi di apprendimento

- L'attività è coerente con il curriculum di falegnameria o carpenteria.
- Gli studenti comprendono il flusso di lavoro di base del CNC (progettazione, programmazione, setup e lavorazione).
- Il compito rafforza capacità di problem solving e di presa di decisione, come la scelta degli utensili, dei parametri o delle strategie operative.
- L'attività prevede un'interazione pratica sia con strumenti digitali sia con materiali fisici.

Preparazione pedagogica

- È stato preparato o realizzato un pezzo di esempio da mostrare alla classe.
- Sono stati individuati i problemi più comuni che gli studenti possono incontrare (punto zero errato, scelta dell'utensile, parametri di avanzamento non corretti, fissaggio inadeguato del materiale).

- Sono state preparate domande guida, come: *Perché il taglio non è accurato? Cosa deve essere regolato?*
- Sono stati pianificati momenti di collaborazione tra pari e discussione di gruppo durante le fasi di progettazione, impostazione o valutazione.

Adattamento ai processi di falegnameria

- L'attività CNC è chiaramente collegata a processi reali di lavorazione del legno (taglio pannelli, elementi di giunzione, scanalature, maschere o parti decorative).
- Gli studenti possono confrontare i pezzi lavorati a CNC con componenti realizzati manualmente.
- Sono disponibili esempi che mostrano come il CNC supporti e valorizzi il sapere artigianale, invece di sostituire le competenze tradizionali della falegnameria.

3.4 Esempi di attività per la formazione professionale (VET) in falegnameria con CNC

Per aiutare i docenti a visualizzare come la tecnologia CNC possa essere integrata nella formazione in falegnameria, gli esempi seguenti presentano attività pronte all'uso, adattabili a diversi livelli di competenza e a differenti contesti di laboratorio. Queste attività mostrano come la lavorazione CNC possa supportare l'apprendimento, il lavoro di precisione, la comprensione delle giunzioni e la sperimentazione nella carpenteria.

Progetto breve – Livello base (1–2 lezioni): Lavorazione CNC di un semplice componente da laboratorio

Obiettivo: Introdurre gli studenti al flusso di lavoro CNC di base utilizzando un oggetto semplice e funzionale, utilizzabile direttamente nel laboratorio di falegnameria.

- Descrizione: Gli studenti scaricano o progettano un oggetto semplice, come un distanziatore, un fermo di taglio o una maschera di foratura. Preparano il programma CNC, impostano la macchina, lavorano il pezzo e lo testano in una

reale attività di laboratorio. L'attenzione è posta sulla comprensione del processo più che sulla complessità del manufatto.
- Risultati di apprendimento: comprendere il flusso di lavoro CAD–CAM–CNC di base; osservare l'importanza di dimensioni, precisione e tolleranze; collegare i componenti lavorati a CNC a un utilizzo pratico in laboratorio.
- Variante: Gli studenti modificano il progetto per adattarlo a una specifica macchina, utensile o misura utilizzata nel proprio laboratorio.

Progetto medio – Livello intermedio (3–4 lezioni): Esplorazione delle giunzioni con supporto CNC

Obiettivo: Esplorare i concetti tradizionali di giunzione utilizzando la progettazione digitale e la lavorazione CNC per comprendere meglio incastri, geometrie e precisione.

- Descrizione: Gli studenti progettano una giunzione con un software CAD e realizzano una versione di prova con il CNC. Verificano la qualità dell'incastro, individuano eventuali problemi, apportano modifiche al progetto se necessario e infine realizzano la giunzione in legno reale. Questo approccio consente di comprendere il comportamento della giunzione prima di passare al pezzo definitivo.
- Risultati di apprendimento: sviluppare competenze di base nella progettazione CAD e nella preparazione CNC; analizzare accoppiamento, allineamento e comportamento meccanico delle giunzioni; ridurre lo spreco di materiale grazie a test digitali e lavorazioni progressive.
- Variante: Gli studenti confrontano diverse tipologie di giunzione e presentano quale soluzione funziona meglio e per quali motivi.

Progetto lungo – Livello avanzato (1–2 settimane): Progettazione e realizzazione di un oggetto in legno con supporto CNC

Obiettivo: Integrare competenze tradizionali di falegnameria e lavorazione CNC digitale all'interno di un progetto completo.

- Descrizione: Gli studenti progettano un oggetto che includa parti lavorate a CNC, come pannelli con scanalature, elementi curvi o ritagli di precisione.

Preparano il progetto, realizzano i componenti con il CNC e assemblano e rifiniscono l'oggetto utilizzando tecniche tradizionali di carpenteria.

- Risultati di apprendimento: comprendere il ruolo complementare del CNC nella lavorazione del legno; pianificare un progetto dall'idea alla lavorazione, fino all'assemblaggio finale; applicare competenze digitali e manuali in un'unica attività coerente.
- Variante: Gli studenti documentano l'intero processo (progettazione – lavorazione CNC – assemblaggio – finitura) e riflettono sui vantaggi e sui limiti dell'utilizzo del CNC nel progetto.

4. Integrazione nelle classi

4.1 Raccomandazioni metodologiche

Secondo 3ERP, l'utilizzo della tecnologia CNC nell'istruzione rappresenta un'opportunità significativa per rafforzare la formazione professionale e tecnica, avvicinando l'apprendimento alle reali pratiche industriali. Le macchine CNC sono ampiamente utilizzate negli ambienti manifatturieri moderni e la loro introduzione nei contesti educativi consente agli studenti di lavorare con strumenti e processi molto simili a quelli presenti nelle officine professionali. Questo contribuisce a ridurre il divario tra ciò che gli studenti apprendono in aula e ciò che viene loro richiesto nel mondo del lavoro.

Uno dei principali contributi del CNC in ambito educativo è la sua capacità di supportare un apprendimento pratico ed esperienziale. Invece di concentrarsi esclusivamente su spiegazioni teoriche, gli studenti partecipano attivamente alla progettazione dei componenti, alla preparazione dei programmi macchina e all'osservazione di come le istruzioni digitali vengano tradotte in oggetti fisici. Questo coinvolgimento diretto aiuta a comprendere meglio i processi produttivi e rafforza i concetti tecnici attraverso la pratica.

3ERP evidenzia inoltre che le attività basate sul CNC favoriscono lo sviluppo delle competenze di problem solving. Durante i progetti CNC, gli studenti si trovano spesso ad affrontare difficoltà legate alla precisione del progetto, al setup della macchina o a risultati inattesi. Per superare questi problemi devono analizzare cosa non ha funzionato, regolare i parametri o modificare i design. Questo processo iterativo stimola il pensiero critico e insegna ad affrontare i problemi tecnici in modo strutturato e metodico.

In aggiunta, lavorare con la tecnologia CNC espone gli studenti a flussi di lavoro digitali, che includono l'uso di file di progettazione e processi controllati da computer. Questa esperienza supporta lo sviluppo delle competenze digitali insieme alle abilità tecniche tradizionali. Gli studenti imparano non solo a utilizzare le macchine, ma anche a pianificare, testare e perfezionare il proprio lavoro, rispecchiando pratiche comuni nella manifattura contemporanea.

Infine, viene sottolineato come un'esposizione precoce alla tecnologia CNC possa migliorare la preparazione degli studenti al mondo del lavoro. Poiché la lavorazione CNC è una tecnologia chiave in molti settori industriali, la familiarità con questi sistemi rende gli studenti più pronti per posizioni entry-level, percorsi di apprendistato o ulteriori studi tecnici. In questo senso, il CNC non è solo uno strumento didattico, ma anche un ponte tra la formazione professionale e le future opportunità occupazionali [10].

4.2 Piano di implementazione step-by-step

Fase 1 – Pianificazione e allineamento con il curriculum

Prima di introdurre il CNC in laboratorio, è necessario definire obiettivi di apprendimento chiari e assicurarsi che siano coerenti con il curriculum di falegnameria o carpenteria. Occorre stabilire cosa gli studenti devono apprendere in ciascuna fase (ad esempio: flusso di lavoro di base, precisione, giunzioni, sviluppo di un progetto) e selezionare attività adeguate al loro livello di esperienza.

Fase 2 – Preparazione e familiarizzazione dei docenti

Il docenti dovrebbero acquisire dimestichezza con la macchina CNC, il software e il flusso di lavoro di base prima di lavorare con gli studenti. Questo include l'esecuzione di lavorazioni di prova, l'individuazione degli errori più comuni e la preparazione di progetti di esempio o pezzi finiti da utilizzare durante le dimostrazioni.

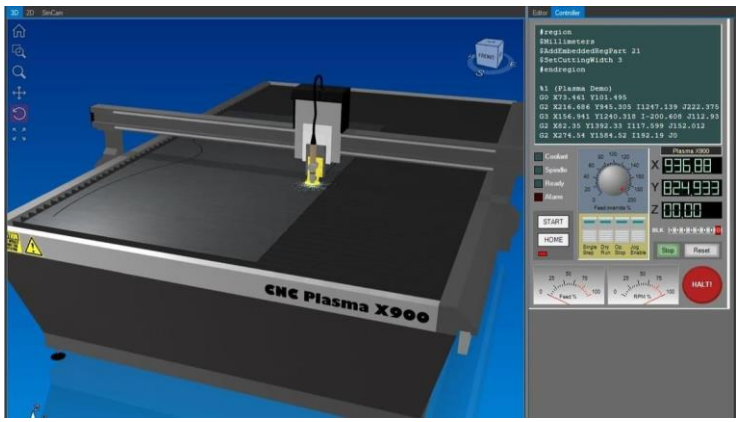


Figure 5: Software for CNC [12].

Fase 3 – Introduzione dei concetti CNC agli studenti

Spiegare cos'è il CNC e come si inserisce nella pratica della falegnameria utilizzando un linguaggio semplice ed esempi concreti. Brevi dimostrazioni aiutano gli studenti a comprendere il processo prima di iniziare a lavorare direttamente con la macchina.

Fase 4 – Attività pratiche guidate

Avviare il lavoro con attività semplici e supervisionate. Gli studenti operano su progetti di base o su piccoli compiti CNC mentre il docente fornisce una guida costante, ponendo particolare attenzione alla sicurezza, al corretto setup della macchina e alla comprensione di ogni fase del processo.

Fase 5 – Progressiva autonomia degli studenti

Con l'aumento della sicurezza e della competenza, gli studenti assumono gradualmente maggiori responsabilità nelle decisioni di progettazione, nell'impostazione della macchina e nella risoluzione dei problemi. Le attività possono diventare progressivamente più complesse, includendo elementi di giunzione o piccoli progetti completi.



Figure 6: Student using CNC machine [13].

Fase 6 – Integrazione con le attività tradizionali di falegnameria

Integrare la lavorazione CNC con operazioni manuali come assemblaggio, carteggiatura e finitura. Questo aiuta gli studenti a comprendere come il CNC

supporti, e non sostituisca, le competenze tradizionali della falegnameria, valorizzando il sapere artigianale all'interno del processo produttivo.

Fase 7 – Valutazione e riflessione

Al termine di ogni attività, analizzare i risultati insieme agli studenti. Discutere ciò che ha funzionato bene, i problemi emersi e le possibili migliorie al processo. La riflessione condivisa contribuisce a consolidare l'apprendimento e a sviluppare capacità di ragionamento tecnico e consapevolezza operativa.

4.3 Checklist di integrazione in aula

Una volta che i docenti sono pronti a integrare la lavorazione CNC nelle lezioni, questa checklist fornisce una guida per preparare, svolgere e concludere un'attività in aula o in laboratorio. Serve a garantire che tutti i materiali, le attrezzature, le risorse digitali e i passaggi pedagogici siano pronti, aiutando a gestire la sessione in modo fluido e sicuro.

Preparazione della sessione

- ☐ È stata selezionata un'attività CNC semplice e adatta ai principianti (ad es. distanziatore, fermo di battuta, taglio semplice di un pannello).
- ☐ Tutti i file digitali necessari (CAD e programma CNC) sono salvati e ne esiste una copia di backup.
- ☐ La macchina CNC è stata testata il giorno precedente per evitare problemi imprevisti.
- ☐ Il tempo stimato di lavorazione rientra nella durata della lezione disponibile.
- ☐ Gli studenti hanno accesso a un software CAD adeguato al loro livello.
- ☐ Il flusso di lavoro CNC è stato pianificato chiaramente: Progettazione – Programmazione – Setup – Lavorazione – Valutazione.

Materiali e attrezzature

- ☐ Sono disponibili e pronti materiali in legno o pannelli adatti all'attività.
- ☐ Gli utensili di taglio appropriati (frese/punte) sono installati o pronti all'uso.

- Sono disponibili morsetti o un sistema a vuoto per fissare saldamente il pezzo.
- Gli strumenti di misura (righello, calibro) sono pronti per il controllo delle dimensioni.
- Il sistema di aspirazione delle polveri è collegato e funzionante.
- I DPI necessari sono disponibili (occhiali di sicurezza, protezioni acustiche).

Durante l'attività

- Gli studenti conoscono chiaramente i propri ruoli (progettazione, setup, monitoraggio, controllo qualità, documentazione).
- Gli studenti sono in grado di identificare i principali parametri CNC, come:
  - profondità di taglio;
  - tipo di utensile;
  - velocità di avanzamento;
  - velocità del mandrino.
- Il flusso di lavoro è stato spiegato in modo chiaro: Progettazione – Programma CNC – Setup – Lavorazione – Valutazione.
- Il docente supervisiona attivamente il funzionamento della macchina e il posizionamento degli studenti.
- È previsto tempo per una finitura di base (carteggiatura dei bordi, pulizia).

Dopo l'attività

- Gli studenti documentano i risultati (foto, schizzi, note su parametri e risultati).
- Viene svolta una breve attività di riflessione (Cosa ha funzionato? Cosa no? Cosa cambieresti?).
- La macchina CNC viene pulita, gli utensili rimossi se necessario e lo spazio di lavoro lasciato in condizioni sicure per il gruppo successivo.

4.4 Consigli per i docenti

Di seguito alcune **raccomandazioni sull'uso del CNC 3D in ambito educativo**, pensate per contesti VET di falegnameria e carpenteria.

Raccomandazioni	Descrizione
Iniziare con attività CNC semplici	Iniziare con **operazioni di base**, come **tagli rettilinei o forme semplici**, prima di passare a progetti più complessi. Questo approccio aiuta gli studenti a comprendere in modo chiaro il **flusso di lavoro CNC**, dalla progettazione alla lavorazione, costruendo gradualmente sicurezza, precisione e consapevolezza del processo.
Eseguire dimostrazioni preliminari	**Brevi dimostrazioni** permettono agli studenti di **visualizzare il processo**, i **movimenti della macchina** e le **zone di sicurezza** prima di assumere un ruolo attivo nelle attività CNC. Questo aiuta a chiarire le fasi operative, a ridurre i rischi e a rendere l'apprendimento più consapevole e sicuro fin dall'inizio.
Integrare le CNC con il lavoro tradizionale	Integrare la lavorazione CNC con **attività manuali** come **assemblaggio, carteggiatura e finitura**, in modo che gli studenti comprendano il CNC come **uno strumento complementare**, e non come un sostituto, delle competenze artigianali e del sapere della falegnameria tradizionale.
Enfatizzare la sicurezza ad ogni stadio	Ricordare regolarmente agli studenti la presenza di **parti in movimento**, **utensili rotanti** e la corretta **posizione di sicurezza** durante il lavoro. Regole chiare e una **supervisione costante** sono fondamentali per garantire un utilizzo sicuro delle macchine CNC.
Incoraggiare la risoluzione ai problemi e la riflessione	Considerare gli **errori come opportunità di apprendimento**. Discutere insieme perché si sono verificati e come sia possibile migliorare il **progetto**, il **setup della macchina** o i **parametri di lavorazione** aiuta

	gli studenti a sviluppare consapevolezza tecnica, capacità di analisi e problem solving.
Pianificare ruoli e lavoro di squadra	Assegnare **ruoli chiari** (progettazione, setup, monitoraggio, controllo qualità) permette di coinvolgere tutti gli studenti e di **riprodurre le pratiche reali di officina**, favorendo collaborazione, responsabilità e una migliore comprensione dei processi produttivi.
Dedicare del tempo per la valutazione	Prevedere sempre un momento dedicato alla **revisione dei risultati**, al **confronto con il progetto** e alla **riflessione sul processo CNC e sugli esiti ottenuti**. Questo passaggio è fondamentale per consolidare l'apprendimento, migliorare il ragionamento tecnico e sviluppare consapevolezza sulle scelte progettuali e operative [10], [11].

5. Sicurezza e sostenibilità nella lavorazione CNC

L'uso della tecnologia CNC nella formazione in falegnameria e carpenteria offre numerosi vantaggi, ma richiede anche una particolare attenzione agli aspetti di sicurezza e sostenibilità. In un contesto VET, le macchine CNC devono essere utilizzate in modo da tutelare studenti e docenti, promuovendo al tempo stesso un uso responsabile dei materiali e delle risorse.

Considerazioni sulla sicurezza nell'uso delle macchine CNC

Le macchine CNC includono parti in movimento, utensili rotanti e componenti elettrici, per cui la sicurezza deve essere sempre una priorità. Secondo Proto&Go, uno dei principi fondamentali di sicurezza consiste nel garantire che solo utenti formati operino la macchina e che vengano seguite procedure operative chiare. Prima di avviare qualsiasi attività CNC, gli utilizzatori dovrebbero conoscere i comandi della macchina, le funzioni di arresto di emergenza e le regole di base per l'uso corretto.

L'uso appropriato dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) è altrettanto essenziale. Gli occhiali di sicurezza sono raccomandati per proteggere da schegge e detriti, mentre le protezioni acustiche possono essere necessarie a seconda della macchina e del materiale lavorato. Indumenti larghi, gioielli e capelli lunghi devono essere fissati o rimossi per evitare il contatto con le parti in movimento.

Un ulteriore aspetto chiave della sicurezza riguarda il setup della macchina e l'organizzazione dello spazio di lavoro. È fondamentale fissare saldamente il pezzo da lavorare per impedirne il movimento durante la lavorazione. Gli utensili devono essere installati e serrati correttamente, e l'area di taglio deve essere mantenuta libera da oggetti non necessari. Un ambiente di lavoro pulito e ordinato riduce il rischio di incidenti e migliora la visibilità durante l'operazione.

Infine, ispezione e manutenzione regolari svolgono un ruolo cruciale nella sicurezza. Il controllo dell'usura degli utensili, la verifica del corretto funzionamento delle protezioni e dei sistemi di sicurezza, nonché la pulizia della macchina aiutano a prevenire malfunzionamenti e guasti imprevisti. In un

ambiente educativo, queste verifiche dovrebbero far parte delle procedure di preparazione di routine prima di ogni sessione di laboratorio.



Figure 7: Person using proper personal protective equipment [14].

Aspetti di sostenibilità nell'uso del CNC nella lavorazione del legno

Oltre alla sicurezza, la tecnologia CNC può favorire pratiche più **sostenibili** nella lavorazione del legno, se utilizzata in modo responsabile. Un aspetto centrale è l'**efficienza nell'uso dei materiali**. Poiché la lavorazione CNC viene pianificata digitalmente, i percorsi di taglio possono essere ottimizzati in anticipo, contribuendo a ridurre gli scarti e a prevenire errori inutili. Questo è particolarmente rilevante nei contesti formativi, dove le risorse sono spesso limitate.

Le macchine CNC consentono inoltre un **migliore controllo del processo produttivo**, riducendo rilavorazioni e pezzi scartati. Ottenere componenti accurati fin dal primo tentativo significa diminuire lo spreco di legno e il consumo di energia associato alla ripetizione delle lavorazioni.

Un ulteriore elemento di sostenibilità riguarda la **gestione delle polveri e dei residui**. L'adozione di sistemi di aspirazione adeguati non solo migliora la sicurezza, ma riduce anche l'impatto ambientale delle polveri disperse nell'aria del laboratorio. I residui di lavorazione possono così essere raccolti in modo più efficace e, ove possibile, **riutilizzati o riciclati**.

Dal punto di vista educativo, il CNC rappresenta anche un'opportunità per sensibilizzare gli studenti alla manifattura responsabile. Discutendo scelte di materiale, strategie di taglio e riduzione degli scarti durante le attività CNC, i docenti possono aiutare gli studenti a comprendere come gli strumenti digitali possano supportare pratiche di lavorazione del legno più sostenibili, consapevoli e orientate al futuro [14], [15].

6. Additional resources

Title: Introduction to CNC Machines

Author: CNCKing

Description: Short video introducing what is CNC and how does it work.

Link: https://www.youtube.com/watch?v=-C_h7BOq4ps

Title:

Author: The ultimate Guide to CNC Machining

Description: Additional information and resources for learning more about this technology and its potential uses.

Link: https://www.fictiv.com/articles/the-ultimate-guide-to-cnc-machining

Title: CNC Machining Types and Applications

Author: YIJIN Hardware

Description: Short video introducing the different types of CNC machines that exists and can be applied.

Link: https://www.youtube.com/watch?v=u1jiod4c-eI

7. Conclusioni

L'integrazione della tecnologia CNC nei percorsi di formazione professionale (VET) per la falegnameria e la carpenteria contribuisce alla modernizzazione del VET, mettendo in relazione i processi digitali con il sapere artigianale tradizionale. Il CNC consente agli studenti di lavorare con strumenti e flussi di lavoro che rispecchiano le pratiche professionali attuali, continuando al contempo a sviluppare competenze manuali essenziali.

Questa guida ha mostrato come il CNC possa essere introdotto in modo strutturato, sicuro e pedagogicamente significativo, offrendo ai docenti raccomandazioni pratiche, esempi di attività e indicazioni per l'integrazione in aula e in laboratorio. Quando utilizzato come strumento complementare, il CNC migliora la precisione, supporta l'apprendimento e favorisce una comprensione più profonda dei processi produttivi.

Nel quadro del progetto ShiftVET, questa guida contribuisce a rafforzare l'offerta di formazione professionale, sostenendo l'adozione di tecnologie innovative allineate alle esigenze del mercato del lavoro. In questo modo, aiuta a preparare gli studenti ad affrontare le sfide delle professioni contemporanee della falegnameria e della carpenteria.

ShiftVET è il punto d'incontro tra CNC e artigianato contemporaneo

---

Bibliografia

[1] Goodwin University, "What is CNC Machining in Manufacturing?," Goodwin University, 09 July 2024. [Online]. Available: https://www.goodwin.edu/enews/what-is-cnc/. [Accessed 08 January 2026].

[2] J. mentira, "A Guide to the Wood CNC Router," Runsom, [Online]. Available: https://www.runsom.com/es/blog/cnc-wood-router/. [Accessed 08 January 2026].

[3] AM Soluciones, "The 7 phases of the CNC program: from design to production," AM Soluciones, 16 November 2023. [Online]. Available: https://www.amsoluciones.com/las-7-fases-del-programa-cnc-desde-el-diseno-hasta-la-produccion/. [Accessed 08 January 2026].

[4] PartMFG, «What is CNC cutting?,» PartMFG, 15 September 2025. [Online]. Available: https://www.partmfg.com/es/que-es-el-corte-cnc/. [Accessed 08 January 2026].

[5] IGOLDENCNC, "The top 10 applications of CNC wood milling machines," IGOLDENCNC, 05 September 2025. [Online]. Available: https://www.igolden-cnc.com/es/top-10-applications-of-wood-cnc-router/. [Accessed 08 January 2026].

[6] CNC industry blog, "What is a CNC machine used for in woodworking?," CNC industry blog, [Online]. Available: https://cncblogs.com/cnc-industry-blog/what-is-a-cnc-machine-used-for-in-woodworking/. [Accessed 08 January 2026].

[7] MASMADERAZARAGOZA, "Numerical control or CNC cutting machines," MASMADERAZARAGOZA, 2024. [Online]. Available: https://www.masmaderazaragoza.com/muebles-a-medida/cnc/. [Accessed 08 January 2026].

[8] AVIDCNC, AVIDCNC, [Online]. Available: https://www.avidcnc.com/cnc-router-bit-set-p-427.html?srsltid=AfmBOopJft-j8CgKF1IOgthhhmz7pClPJZCt1uUGIjW_f-fgA8CVbox8. [Accessed 08 January 2026].

[9] XOMETRY, "The Definitive Guide to CNC Machining," XOMETRY, 08 September 2023. [Online]. Available: https://xometry.pro/es/articulos/mecanizado-cnc-guia/. [Accessed 08 January 2026].

[10] R. Ye, "CNC Machining in Education: Applications and Benefits," 3ERP, [Online]. Available: https://www.3erp.com/blog/cnc-education/. [Accessed 08 January 2026].

[11] MatterHackers, "Transform Your Classroom: Top Reasons to Add a CNC Machine This School Year," MatterHackers, 15 August 2024. [Online]. Available: https://www.matterhackers.com/about/transform-your-classroom-top-reasons-to-add-a-cnc-machine-this-school-year?srsltid=AfmBOoopxufxCnby_Qs8OdhwqZJj69PG462kzkep4b1lkypZcm5uxw2t. [Accessed 08 January 2026].

[12] A. A. a. L. F. Caleb Favela, «The best CNC programs (15 are free),» All3DP, 11 March 2024. [Online]. Available: https://all3dp.com/es/2/mejor-programa-cnc-gratuito/#google_vignette. [Accessed 09 January 2026].

[13] UDIT, «What is a CNC milling machine used for?: Uses in the Product Design Degree,» UDIT, 12 December 2024. [Online]. Available: https://www.udit.es/para-que-sirve-una-fresadora-cnc-usos-en-el-grado-en-diseno-de-producto/. [Accessed 09 January 2026].

[14] J. Zhang, "CNC machine safety precautions: dos and don'ts," BlueElephant, 30 March 2025. [Online]. Available: https://es.elephant-cnc.com/blog/cnc-machine-safety-precautions/. [Accessed 09 January 2026].

[15] PROTO&GO!, «Basic aspects and safety tips for CNC machines,» PROTO&GO!, [Online]. Available: https://protoandgo.com/aspectos-basicos-y-consejos-de-seguridad-para-las-maquinas-cnc/. [Accessed 09 January 2026].
[16] «3DP TEACHER,» [Online]. Available: https://3dp-teacher.erasmus.site/ite/3DP%20Teacher's%20Guidebook_final_ES.pdf.

SHIFTVET

Co-funded by
the European Union

Cofinanziato dall'Unione europea. Le opinioni e i punti di vista espressi sono esclusivamente quelli dell'autore o degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione europea o del Servizio spagnolo per l'internazionalizzazione dell'istruzione (SEPIE). Né l'Unione europea né l'autorità che ha concesso il finanziamento possono essere ritenute responsabili per essi.